

**ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

На правах рукопису

Ректач Микола Григорович

**ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНО ПЛАВНИХ КРИВИХ
ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Спеціальність 05.22.06 - Залізнична колія

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук.**

Дніпропетровськ - 1994

**НТБ
ДНУЗТ**

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Дніпропетровському державному технічному університеті залізничного транспорту

Науковий керівник -

доктор технічних наук ДАНИЛЕНКО ЕДУАРД ІВАНОВИЧ

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор ВОСОВ АРКАДІЙ АРКАДІЙОВИЧ
2. Кандидат технічних наук, доцент СУШКОВ ВАЛЕНТИН ФЕДОРОВИЧ

Провідна організація - Дніпропетровський державний проектно-вишукувальний інститут "ДНІПРОДІПРОТРАНС".

Захист відбудеться " 24 " листопада 1994 р. о 14 год.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 03.04.01
у Дніпропетровському державному технічному університеті
залізничного транспорту (320700, ГСП, Дніпропетровськ, 10, вул.
акад. В.А.Лазаряна 2, ауд. 248).

НТБ
ДНУЗТ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Залізничний транспорт в теперішній час і в майбутньому, залишається одним із основних ланок транспортної системи країни, що забезпечує як виконання економічних перетворень, так і стабілізацію самої економіки.

Рішення завдань інтенсифікації перевізного процесу з одночасною економією енергетичних ресурсів і забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті залежить від стану колійного господарства. Внаслідок інтенсивного руху поладів істотно розладжується планове подолання колії, особливо на криволінійних ділянках. Найбільше це виявляється на залізничній колії промислових підприємств, що мають велику кількість кривих малих радіусів. По результатам досліджень, виконаних під керівництвом проф. Яковлева В.Ф., на промислових підприємствах довжина кривих з радіусами до 300м складає понад 66%. Істотні витрати на їх виправку, а також змушені перерви в перевізному процесі, знижують продуктивність роботи підприємств і побічно впливають на збільшення собівартості готової продукції.

Відомі на сьогодні засоби розрахунку виправки кривих орієнтовані, в основному, на магістральну колію і не враховують деяких особливостей стану і утримувannya колії промислового транспорту. Особливі умови експлуатації, існуючі на залізничній колії промислових підприємств, специфіка перевезених вантажів, велика кількість кривих малих радіусів, малі швидкості руху, підвищені колісні навантаження та ін., пред'являють спеціальні вимоги до проектування виправки залізничної колії в кривих.

Тому, рішення питань по розрахунку виправки кривих малих радіусів, орієнтованих на використання засобів обчислювальної техніки, зменшення обсягу виправочних робіт, забезпечення кращого вписування рухомого складу, є актуальним завданням для промислового залізничного транспорту, робітників колії.

Ціль і завдання досліджень складається в розробці методу проектування і розрахунку динамічно плавних кривих залізничної колії

промислових підприємств, який забезпечив би мінімальні трудовитрати на рихтовку колії при додержанні нормативних вимог по їх поточному утримуванню.

Для виконання поставленого завдання в роботі вирішені наступні питання

- гнучка якісна та кількісна оцінка існуючого стану залізничних кривих по результатам інструментальних зйомок, виконаних при участі автора на різних промислових підприємствах України, Росії, Грузії та Прибалтики.

- розроблений координатний метод проектування і розрахунку динамічно плавних кривих дозволяє виконувати розрахунки різноманітних кривих, в тому числі, кривих з фіксованими точками, S-подібних без прямих вставок та ін., з урахуванням обмежень на величини та напрямки переміщень;

- виконані теоретичні та експериментальні дослідження руху екіпажів по криволінійним ділянкам колії, відріхтованих по методиці запропонованій автором, підтверджують її ефективність і показують, що розроблений метод припустимий для залізничної колії промислового транспорту; отримані розрахункові параметри кривих задовольняють необхідним критеріям по плавності руху, величинам бокових сил, стійкості колії та рухомого складу;

- визначені показники по трудовитратах на рихтовку кривих залежно від значень, що допускаються на різних суміжних стрілах вигину;

- розроблена і доведена до практичного застосування методика проектування та розрахунку динамічно плавних кривих, складені алгоритми і програми з використанням сучасних ЕОМ.

Наукова новина. Розроблений координатний метод розрахунку виправки кривих дозволяє зменшити обсяг виправочних робіт при забезпеченні динамічної плавності колії.

Одержана більш висока точність розрахункових величин переміщень та стріла вигину, відпала необхідність використання у розрахунках різноманітних допущень та обмежень, на відміну від широко відомого засобу різниць евольвент, в якому ці допущення необхідні.

Отримані формули і залежності для оцінки точності розрахунків

значень координат натурної кривої та розрахункових величин переміщень.

Виконані експериментальні дослідження показали, що залізнична колія, відрізняючися по переміщенню, які отримані запропонованим методом, забезпечують достатню динамічну плавність руху екіпажів.

Практичне значення роботи. На основі розробленої методики складений комплекс програм "ДІІТ" для персональних ЕОМ, який дозволяє обирати найбільш раціональний засіб розрахунку виправки кривих.

Зроблений аналіз результатів обчислень реальних кривих залежно від того, яку різницю в суміжних стрілах вигину приймають при розрахунках. Трудовитрати по різковці кривих можуть бути на 27% менші, якщо при проектуванні різниця в суміжних стрілах вигину не перевищує 4 мм, на відміну від звичайно приймаємої різниці рівної нулю.

Автором показано, що при розрахунках кривих граничні значення різниць в суміжних стрілах вигину можуть бути прийняті із двох-трьох-кратним запасом по відношенню до вимог норм утримування кривих по напрямку в плані.

Складені рекомендації, де приведені довжини хорд при вимірах кривих різних радіусів засобом стріл, диференційовані залежно від величин відносних погрешностей, прийнятих при натурних вимірах.

Методика досліджень ґрунтується на аналізі і узагальненні результатів досліджень, виконаних раніше, і включає розробку координатного методу розрахунку динамічно плавних кривих, досліджень по динаміці взаємодії колії і рухомого складу та експериментальних досліджень.

Достовірність досліджень, виконаних автором, обґрунтована застосуванням сучасних математичних засобів і достатньо добре кореспондується з результатами, опублікованими в літературі і одержаними іншими засобами. Вірогідність експериментальних досліджень забезпечена використанням сучасних вимірювальних засобів, ефективних методів обробки і аналізу одержаної інформації.

Впровадження і реалізація. Методика і результати досліджень, розроблені програми для ЕОМ були використані і впроваджені:

- на промислових підприємствах: Магнітогорських калібровочному та метізано-металургійному заводах, Лісепайському металургійному заводі, Криворізькому ПЗКі;

- в дистанціях колії Придніпровській, Одеській та Львівській залізниць;

- Київському державному проектно-вишукувальному інституті "Київдипротрано".

Використовуються в навчальному процесі, курсовому та дипломному проектуванні, наукових дослідженнях кафедр проектування, будівництва доріг і геодезії, колії та колійного господарства ДДТУЗТ.

Апробація роботи. Результати роботи докладались: на ювілейних науково-технічних конференціях ДІІТа у 1980 і 1990 р.р.;

- на науковому семінарі відділу колійного господарства у Жданівському ЦПКТБ ТРАНСЧЕРМЕТА СРСР в 1982р.;

- на засіданні кафедри "Промисловий транспорт" ДІІТТа у 1989р.;

- розглянуті на засіданнях і наукових семінарах кафедр геодезії, колія та колійне господарство, проектування і будівництва залізничної колії у 1980-1993р.р.

Публікації по роботі. Основні положення дисертації опубліковані у 8 роботах.

Об'єм роботи. Дисертаційна робота містить 140 сторінок машинописного тексту, 15 малюнків, 47 таблиць і складається із введення, п'яти розділів, додатків і списку літератури із 111 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

Введення присвячено обґрунтуванню актуальності теми, викладу цілей, завдань і основних положень дисертації.

У першому розділі дається огляд робіт і стисла історична довідка по методам і засобам розрахунку виправки залізничних кривих, сучасний стан питання по розрахункам виправки кривих і шляхи їх вдосконалення.

Експлуатація залізничної колії на сучасному етапі діється в умовах

гострого дефіциту матеріально-технічних ресурсів, робочої сили, переходу до ринкових відносин. В такій ситуації особливо гостро постає завдання підвищення строків надійної і безаварійної роботи колії при істотному скороченні матеріальних і трудових витрат. Одним із важливих напрямків в рішенні цього завдання є розробка методів проектування динамічно плавних кривих, внаслідок виправки яких забезпечується необхідна і достатня плавність руху екіпажів при мінімальних трудовитратах на виконання річковочних робіт.

Стану і перспективам розвитку розрахунків по виправці залізничних кривих постійно приділяється велика увага.

Як відомо, завдання розрахунку виправки кривих не має однозначного рішення, тому в розрахунковій практиці, як правило, прагнуть знайти рішення, яке задовільнить критерію мінімуму річковочних робіт при виконанні вимог плавності рейкової колії.

Починаючи із 1909 року М.Н.Смеляновим, І.М.Зубковим, П.Г.Козітчуком, Г.М.Шахуняцем, Н.Н.Максимовим, А.К.Доніним, В.І.Ангелейко, Д.Г.Ковтуном, М.Д.Подікарповим, А.Т.Крагелем, М.А.Макуровим, І.Я.Туровським, А.Ф.Лютцем, Г.В.Солоновим, А.В.Гавріленковим, І.В.Гонікбергом, І.Д.Андрєєвим, В.Н.Лященко, М.А.Фрішманом, Є.М.Ряпопортом, В.Ф.Яковлевим, Б.В.Яковлевим, А.Б.Розановим, Н.В.Солов'євим, А.А.Лебедеєвим, Ю.М.Шенотиковим, В.В.Вреденом, І.П.Корменєвичем, С.В.Савковим, Б.Н.Євдєєвим, А.І.Проценко, І.В.Турбіним та іншими, запропоновані різноманітні засоби рішення цього завдання, яке можна поділити на два класи:

а. засоби ручного рахунку або з застосуванням простіших рахувальних приладів;

б. аналітичні машинні алгоритми, розраховані на застосування ЕОМ персональних комп'ютерів.

Внаслідок розрахунків, як правило, одержують геометрично правильні кругові і перехідні криві. Реалізація розрахункових переміщень при цьому вимагає чималих трудовитрат, що не завжди ефективно, особливо для колії промислового транспорту в умовах отриманої території підприємств, дефіциту

робочої сили, а також за відсутності в достатній кількості засобів механізації.

Важливими є питання, пов'язані з нормами утримування залізничних кривих. Дослідження, виконані в ВДІЗТу (м.Москва) під керівництвом д.т.н. Ершкова О.П., в ЛІІЗТу (м.С-Петербург) під керівництвом проф. Яковлега В.Ф. по нормам утримання кривих в плані показали, що вибір допусків залежить від швидкостей руху, вантажопідйомності та ряду показників, які забезпечують комфортабельність пасажирських перевезень.

В розділі зроблено аналіз методів проектування виправки залізничних кривих, розглянуті нормативні документи поточного утримання кривих по напрямку в плані.

У другому розділі приведені дослідження по питанню норм утримання кривих. На основі інструментальних зйомок, виконаних з участю автора дисертації на промислових підприємствах України, Росії, Грузії та Прибалтики встановлено, що криволінійні ділянки колії складають в середньому майже 42% від загальної довжини колії. Кількість кривих радіусами менше 100м складає 11%, радіусами 101-400м - 74%.

Для оцінки поточного стану колії нами виконані виміри стріл вигину в кривих з радіусами від 40 до 2000м від середин хорд постійної довжини. По результатам натурних вимірів визначені ділянки кругових та перехідних кривих. Всі кругові криві нами поділені на чотири групи: 1 - криві з радіусами до 200м, 2 - від 201 до 400м, 3 - від 401 до 650м, 4 - понад 650м. Виконана статистична обробка результатів натурних вимірів показала, що по встановленим в цей час нормам міститься майже 43% кривих 1 групи, 19% кривих 2 групи, 25% кривих 3 групи і 21% кривих 4 групи. В цьому зв'язку можна укласти, що залізничні криві підприємств, де проводилися дослідження, експлуатуються при недотриманні існуючих норм. Тому, представляє закономірним поставити питання, а чи допуски, встановлені для магістральних залізниць припустимі та економічно обгрунтовані для колії промислового транспорту?

Як зазначають в своїх роботах професора Ершков О.П., Шахуняц Г.М. і Яковлев В.Ф., вибір допусків залежить від конструкції колії, вісьових

навантажень, швидкостей руху, вантажопідйомності, а також величин непогашених прискорень, які визначають комфортабельність пасажирських перевезень. Деякі із цих чинників на промисловому транспорті, на відміну від магістральних залізниць, діють незначно, або взагалі відсутні.

В цьому зв'язку можна вважати, що в завданні виробітку норм поточного утримання колії промислових підприємств, як перше наближення, можуть бути використані результати статистичної обробки даних натурних вимірів. Виконані автором дослідження дозволяють установити залежність між допусками, що приймаються по різниці в суміжних стрілах вигину і ймовірністю їх появи (P). Ця залежність приведена в табл.1.

Таблиця 1

Залежність різниці суміжних стріла вигину, які допускаються при поточному утриманні кривих, від ймовірності їх появи

Ймовірність, P , %	Допустима різниця в суміжних стрілах вигину, мм, для кривих радіусів, м				Примітка
	менше 200	201-400	401-650	понад 650	
10	34	33	24	12	Стріли вигину виміряні від середини корди довжиною 10 м
20	24	23	17	8	
30	18	17	12	6	
35	15	15	11	5	
40	13	13	9	4	
45	12	12	8	4	
50	10	10	7	3	

Аналіз даних табл.1 показує, що допускаємі різниці в суміжних стрілах вигину можуть бути прийняті при поточному утриманні кривих залежно від ймовірнісної характеристики (P), яка встановлюється експериментальним шляхом. Автор не дає остаточних рекомендацій по зменшенню норм утримання кривих, бо величини допусків повинні прийматися на підставі всебічного теоретичного обґрунтування, проведення динамічних іспитів по умовам вписування екіпажа у криві, недопущення перекидування, виплескування або зсування із місця перевозимих вантажів.

Виходячи з відносної точності виміру стріла вигину для кривих різних радіусів, автором рекомендовані довжини хорд, які приведені в табл.2.

Довжини хорд, що рекомендуються при вимірі стріла вигину в кривих різних радіусів

Радіуси кривих, м	Довжина хорди, м	Відносна точність	
менше 100	6	1/64	1/160
101 - 650	10	1/80	1/520
651 - 2000	20	1/260 - 1/800	
2001 - 4000	30	1/535 - 1/1060	
на прямих	30		

У третьому розділі виконано обґрунтування вибору раціональних засобів розрахунку виправки залізничних кривих.

Інженерна постановка завдання розрахунку виправки кривих при поточному утриманні колії подягає в одержанні розрахункових стріла вигину, що задовольняють вимогам утримування колії по напрямку і переміщенню, необхідних для приведення розладненої колії в нормальне положення при мінімумі ріжтовочних робіт. Існуюче положення кривої, при розрахунках, задається виміченими стрілами вигину від середини хорди постійної довжини. Завданням розрахунків є визначення оптимальних величин переміщень, виходячи з умови забезпечення мінімуму суми їх квадратів, які характеризують мінімальні трудовитрати по виправці кривих. При цьому динамічні характеристики кривих повинні задовольняти вимогам руху потягів з заданою швидкістю і встановленими ваговими нормами.

Виконане техніко-економічне обґрунтування вибору деяких критеріїв для розрахунку виправки кривих показує, що трудовитрати по ріжтовці кривих можуть бути на 27% менші, якщо при проектуванні прийняти різницю суміжних стріла вигину яка не перевищує 4мм, на відміну від звичайно

приймаємої різниці рівної нулю.

Для порівняльної оцінки трудовитрат по ріхтовці кривих нами виконані розрахунки виправки 437 кривих у двох варіантах: у першому варіанті різниці в суміжних стрілах вигину прийнята рівна нулю, а в другому - не перевищує 4мм.

Виконана статистична обробка одержаних результатів дозволяє укласти, що одержані сукупності величин переміщень підлягають показовому закону розподілу. Виконані перевірки показують, що прийнята гіпотеза про форму кривої підтверджується, так як критерії "хі-квадрат" і Романовського (R) не перевищують нормованих величин.

Відобразивши вимірні стріли вигину в вигляді графіка, можна судити про існуючий стан кривої, про її характер (однорадіусна або складова), про необхідність виконання її ріхтовки. Існуючі засоби, в більшості своєму, припускають проектування геометрично правильної кривої. Але, як показує практика, для реалізації одержаних переміщень потрібно виконати чималий обсяг ріхтовочних робіт.

За поглядом автора, уявляється доцільним, щоб внаслідок проектування розрахункову криву одержувати у вигляді динамічно плавної, геометричні характеристики якої задовольняли б вимогам взаємодії колії та рухомого складу.

Одним із можливих засобів проектування динамічно плавної кривої може служити, вживаемий різними дослідниками, метод згладжування з використанням зважених кованих середніх. У вигляді вихідної функції для одержання апроксимуючих поліномів нами прийнятий поліном Р-й міри

$$U_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n \quad (1)$$

Дослідження, виконані нами показують, що апроксимація квадратичним поліномом для п'яти точок має задовільні для заданих умов результати.

Поліном буде мати вид

$$Y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \quad (2)$$

Рішення по методу найменших квадратів дозволило визначити коефіцієнти a_0, a_1, a_2 в результаті одержати апроксимуючий поліном виду

$$Z_1 = [17Y_1 + 12(Y_{1-1} + Y_{1+1}) - 3(Y_{1-2} + Y_{1+2})]/35, \quad (3)$$

що рівносанний поліному, раніше описаному в роботах М.Кендалла і А.Стюарта. Приведений вище поліном, проте, не дозволяв виконувати сглажування перших і останніх двох точок ряду і для таких точок, використавши аксіоматичну теорію відновлення, розроблену проф.Босовим А.А., нами одержані нові поліноми

- для першої точки

$$Z_1 = (31Y_1 + 9Y_2 - 3Y_3 - 5Y_4 + 3Y_5)/35 \quad (4)$$

- для другої точки

$$Z_2 = (9Y_2 + 13Y_3 + 12Y_4 + 6Y_5 - 5Y_6)/35 \quad (5)$$

Виконані розрахунки по сглажуванню великої кількості стріл вигину і визначенню величин переміщень з використанням різноманітних поліномів показували неефективність сглажування стріл вигину. Так сглажування стріл вигину не дозволяє враховувати величину і напрям переміщень в фіксованих точках, не задовольняє також вимозі невідмінності куту повороту кривої.

Тому з'явилася необхідність розробити такий метод розрахунку, який би в повному обсязі задовольняв основним вимогам при визначенні розрахункових величин стріл вигину і переміщень.

У четвертому розділі розглянуті питання, пов'язані з опрацюванням нового методу проектування і розрахунку динамічно плавних кривих, названого автором "координатним методом розрахунку виправки кривих". В основу метода покладена ідея проф. Дювіна А.К. про те, що завданням будь-якого засобу проектування кривих є: по відомим координатам кожної точки існуючої кривої необхідно визначити координати її нового, проєктного (розрахункового) положення.

Для визначення координат точок натурної кривої, нами використаний відомий вмір стріла вигину (f) від середини корди (a) постійної довжини. Обчислення координат точок ділення кривої виконується в умовній системі плоских прямокутних координат (рис.1), в якій $X_0 = 0$, $Y_0 = 0$, $X_1 = a$, $Y_1 = 0$.

Автором виведені розрахункові формули для визначення координат точок ділення кривої. Так умовні координати запропоновано визначати по наступним формулам

$$X = a + \sum_{i=1}^{i-1} a \cos(2 \sum_{j=1}^{j-1} \arcsin(f_j/a)), \quad (6)$$

$$Y = \sum_{i=1}^{i-1} a \sin(2 \sum_{j=1}^{j-1} \arcsin(f_j/a)) \quad (7)$$

де a - довжина відрізка ділення кривої,

f - виміряні стріли вигину,

X, Y - координати точок ділення кривої в умовній системі координат.

Для переходу із умовної в розрахункову систему координат (рис.2) враховують кут повороту напрямків (ϕ), (див.рис.1), по формулі

$$\phi = 360 - \arctg(Y'_k/X'_k), \quad (8)$$

де X'_k, Y'_k координати останньої точки кривої в умовній системі координат.

З метою вибору загальної методики координатного методу розрахунку, розглянуто вплив приросту ординат на визначення величин і напрямків переміщень. Виконані розрахунки однієї і тієї ж кривої по методикам пропонуваним різними авторами: Лебедєвим А.А. - ЦНІІ МНС, Дюніним А.К. і Бредюком В. В. - НІІСТ, Фрішманом М.А., Рапопортом Є.М., Гаврювою С.В. - ДІІТ. Обчислені координати кривої по виміряним і розрахунковим стрілам.

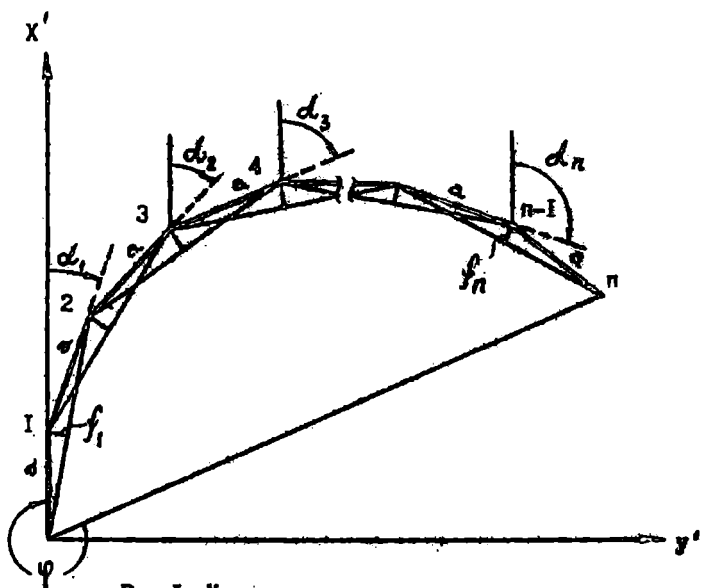


Рис.1. Умовна система координат.

у_р

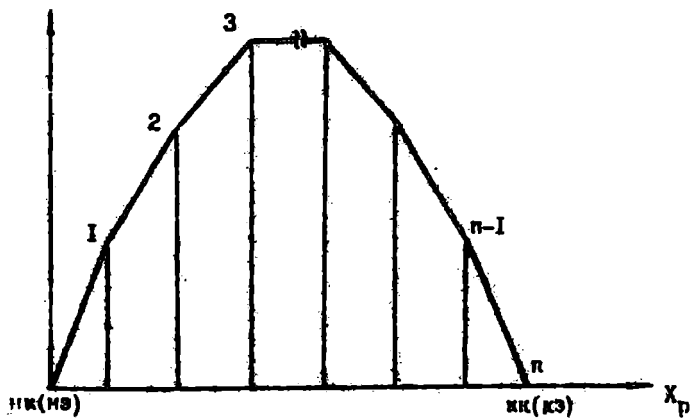


Рис.2. Положення точок кривої в розрахунковій системі координат.

Для кожного способу обчислені розрахункові переміщення по формулі

$$\vartheta = \sqrt{(\chi_{\text{нат}} - \chi_{\text{расч}})^2 + (\gamma_{\text{нат}} - \gamma_{\text{расч}})^2} \quad (9)$$

Рівняння величин переміщень, одержаних різними способами, показує достатньо високу сходиність результатів як по величині, так і по напрямку переміщень. Із аналізу обчислених величин приросту координат слідує, що визначними в виборі величин і напрямків переміщень є приріст ординат. Дослідження, виконані автором показують, що в достатньому мірою точності величини переміщень можуть бути визначені через приріст ординат натурної і проектної кривої

$$\vartheta_i = Y_i^{\text{нат.}} - Y_i^{\text{розр.}} \quad (10)$$

Необхідно визначити, що напрям ординат і переміщень в різноманітних точках кривої не співпадають (за винятком переміщень в середині кривої при непарній кількості точок). Тому остаточні величини переміщень визначають по формулі

$$\vartheta_i = \vartheta_i^{\cdot} / \cos(\alpha_i) \quad (11)$$

де α - поточне значення кута, відповідне i-тому діленню кривої, і визначене раніше при обчисленні координат в умовній системі.

Таким чином, в розробленому методі розрахунку виправки кривих натурне положення кривої визначено епюрою II ординат.

Розрахункові значення ординат (Z) визначають шляхом згладжування натурних ординат (Y) апроксимуючим поліномом (3).

Для виконання умови про незмінність куту повороту розрахункової кривої необхідно, щоб при згладжуванні дві ординати на початку і в кінці проміру кривої були постійними, що дозволяє в процесі розрахунків в цих точках одержати переміщення рівними нулю.

З метою обліку фіксованих точок, переміщення в яких недопустимі,

ординати зазначених точок в процесі сгладжування участі не приймають.

Число ітерацій залежить від конкретної кривої, міри її розладу і заданої гранично допустимої різниці в суміжних розрахункових стрілах вигину.

Виконаний автором аналіз точності обчислення як координат точок ділення кривої, так і величин переміщень, які реалізуються в цих точках, дозволив зробити висновок про необхідну точність вимірів стріла вигину та відрізків ділення кривої. Показано також, що величини середніх квадратичних погрешностей розрахункових стріла вигину і переміщень не збільшуються при виконанні ітераційного процесу сгладжування.

З метою динамічної оцінки стану одержаних розрахункових кривих, норм утримування колії, а також для визначення екстремальних ситуацій взаємодії рухомого складу і колії виконані дослідження руху екіпажів по криволінійним ділянкам колії в радіусах 150-300м. Внаслідок розрахунків виправки кривих по розробленому автором методу, одержують розрахункову криву, в якій на ділянках кругової кривої різниця в суміжних стрілах вигину складає від 0 до 4мм. Величина зміни відносної кривизни в наданому інтервалі не перевищує $1/12500$, що значно менше $1/3000$, прийнятої по нормам при поточному утриманні колії.

Дослідження, виконані в ВНДІЗту для перевірки правильності кривизни кривих, дозволяють оперувати трьома основними групами критеріїв. Перша група критеріїв планності та комфортабельності руху, друга - критерії поперечної стійкості колії і недопущення вношення колеса на рейки, третій - вимоги до змісту рейкових ниток по плавності їх окреслення.

З урахуванням розробленої в ВНДІЗту методики, нами визначені величини деяких критеріїв, пристосованих до колії промислових підприємств. В основі їх визначення покладені різні швидкості рухомого складу та різниця в суміжних стрілах вигину. Максимальна швидкість руху прийнята рівною 40 км/год., яка відповідає інструкції руху потягів на колії промислових підприємств.

В табл.3 приведені результати обчислень величин непогашених децентрових прикренень. (Величини допустимих значень рекомендовані

Таблиця 3

Результати обчислень непогашеної частини доцентрових прискорень

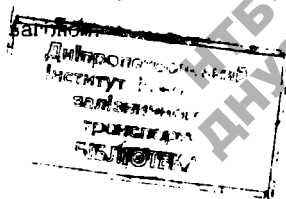
Швидкість, Рівниця км/год. стріл вигину, мм		Величини доцентрових прискорень при:					
		відступи від правильної кривизни, α м/сек ²		зміна радіуса в сусідніх перерізах, β м/сек ²		раптова зміна радіуса, γ м/сек ²	
		вирах.	рек.	вирах.	рек.	вирах.	рек.
40	1	0.0025	0.15	0.0094	0.30	0.0027	0.60
40	2	0.0049	0.15	0.0099	0.30	0.0055	0.60
40	3	0.0074	0.15	0.0148	0.30	0.0082	0.60
40	4	0.0099	0.15	0.0198	0.30	0.0109	0.60

Дослідження, виконані для реальної кривої при швидкості руху 40 км/год., показують, що одержані значення α в 15 раз, а γ в 55 раз менші гранично допустимих значень навіть для магістральної колії.

Для визначення величин бокових сил, які виникають при розладах колії в плані, використана також методика БНДІЗТ. Отримані після розрахунків сили, в залежності від радіусів кривих (350-1000м), склали від 80 до 50,7кн., що менше гранично допустимих (100-120кн.).

Розрахунки коефіцієнту стійкості проти вкочення гребеня колеса на рейки при руху різноманітних екіпажів по кривій показали, що він більше одиниці і стійкість екіпажів забезпечена.

Виконані при участі автора експериментальні дослідження на Придніпровській і Молдавській залізницях показали, що при руху екіпажів по криволінійним ділянкам колії, відріжтованим по запропонованій методиці, забезпечуються нормативні показники взаємодії колії та рухомого складу по величинам бокових сил, непогашених прискорень, напруги в елементах конструкції колії. Спостереження на протязі 2,6 років показали стабільну балну оцінку відріжтованих кривих по результатам перевірок колісним і рульовим вагониками.



Пятий розділ присвячений практичному використанню методики розрахунку кривих для конкретних умов експлуатації залізничної колії як промислового, так і магістрального.

Розглянута економічна ефективність запропонованого методу проектування кривих динамічного плавного окреслення. Виконані розрахунки показують, що вартість робіт по різтовці кривих при реалізації перемішень, одержаних по методиці, яка запропонована автором, в 5-8 раз менше, чим при проектуванні геометрично правильних кривих.

Приведені можливі напрями використання розробленого методу при переулаштуванні однорадіусних і складових кривих, рекомендовано застосування розробленого програмного засобу для паспортизації кривих. Розглянуті можливості застосування методу для обчислення координат і побудови плану існуючої залізничної колії промислових підприємств.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Виконані дослідження по питанню норм утримання залізничних кривих на основі інструментальних вимірок колії різноманітних промислових підприємств виявили, що в своїй більшості криві експлуатуються з порушенням існуючих норм. Встановлено, що прийняті в цей час допуски на колії промислового транспорту є економічно невиправданними і практично важко реалізуються.

2. Розроблений новий метод розрахунку виправки залізничних кривих дозволить зменшити обсяг різтовочних робіт при забезпеченні їх динамічної плавності. Одержана достатньо висока точність обчислення розрахункових величин перемішень і стріх вигину, відпала необхідність використання в розрахунках різноманітних припущень та обмежень, на відміну від широко відомого засобу різниці евольвент, в яких ці допущення необхідні. Метод дозволяє виконувати розрахунки однорадіусних і складових кривих, 5-подібних без прямих вставок, кривих з фіксованими точками, здійснювати розрахунки тільки тих ділянок колії, що містяться в порушенні встановлених допусків, а також враховувати обмеження на величини і напрями перемішень.

3. Биведені формули дозволяють обчислювати координати точок ділення кривої і виконати їх апроксимацію сгладжувачим поліномом з метою обчислення величин переміщень і розрахункових стріл вигину. Аналіз результатів розрахунків виправки одних і тих же кривих, виконаних різними засобами, показує ефективність розробленого автором методу; результати обчислення величин переміщень не залежать від прийнятого напрямку розрахунків (від початку кривої до кінця чи навпаки).

4. По методиці, прийнятій на магістральній колії, виконана динамічна оцінка стану розрахункових кривих яка показує, що при рівнищах в суміжних стрілах вигину до 4мм величини приросту непогашених доцентрових прискорень в 10-15 раз, а величини бокових сил при різних радіусах в 1,5 - 2 рази менші значень, які допускаються навіть для магістральної колії. Експериментальні дослідження, проведені на Придніпровській і Львівській залізницях в 1986 року показують достатню стабільність планового положення кривих, відріжтованих по переміщенням, одержаними по розробленому автором методу розрахунку. Динамічні дослідження, проведені нами в 1990 року на Молдавській залізниці підтвердили, що динамічні характеристики відріжтованих кривих не перевищують величин поперечних, бокових і рамних сил, які допускаються існуючими нормами.

Виконані дослідження по визначенню необхідної точності вимірювання кривих, виміру стріл вигину і відрізків ділення кривої, обчисленню координат точок кривої. Дослідженнями встановлено, що точність в 1-2мм при поділу кривої на відрізки і вимір стріл вигину є достатньою і цілком реалізується неавтоматизованими засобами вимірювання. Відносна лінійна погрішність положення кінцевої точки поділу кривої при цьому складає 1/5000-1/8000, що значно менше 1/2000, яка регламентується нормами. Розглянута можливість визначення координат з застосуванням електронно-оптичних приладів. Складені рекомендації, де приведені довжини хорд при вимірах кривих різних радіусів, диференційованих залежно від величин вігнотних погрішностей, прийнятих при натурних вимірах.

6. Метод рекомендується для використання при розрахунках виправки

кривих не тільки залізничної колії промислових підприємств, але і магістральних, так як забезпечує мінімальні трудовитрати на рихтовку колії при виконанні нормативних вимог по їх поточному утримуванню.

7. По розробленій методиці автором складені алгоритми і програми розрахунку виправки залізничних кривих на мові програмування БЕЛСИК для персональних ЕОМ.

Основні положення дисертації відображені в наступних роботах:

1. Зюїн А.С., Ренгач Н.Г. Рациональные методы съёмки железнодорожных путей.//Промышленный транспорт,-1977.-# 2.-С.21.
2. Лощкарев Н.А., Ренгач Н.Г. К вопросу оценки точности динамического определения радиусов кривых железнодорожного пути/Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Мехвуз. сб. науч. тр./Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп. Днепропетровск.-1977.-вып.168/18 С.66-69.
3. Зюїн А.С., Ренгач Н.Г., Маменко А.К. Геодезическая съёмка железнодорожных путей на предприятиях// Промышленный транспорт,-1979. # 5,-С. 20.
4. Лощкарев Н.А., Ренгач Н.Г., Стаценко А.В. О расчете железнодорожных кривых промышленных предприятий//Промышленный транспорт, -1980. # 3.-С.23.
5. Ренгач Н.Г. Расчет выправки железнодорожных кривых//Промышленный транспорт, -1980.-# 6,С.14.
6. Ренгач Н.Г. Исследование текущего содержания железнодорожных кривых путей промышленных предприятий по направлению в плане. Деп. рук. в ЦНИИТЭИ МПС "Железнодорожный транспорт", 1983.-# 10.реф. 2272-83, 17 с.
7. Ренгач Н.Г. Технико-экономическое обоснование способов расчета выправки железнодорожных кривых. Деп.рук. в ЦНИИТЭИ МПС "Железнодорожный транспорт", 1984.-# 10.реф. 2729-84, 16 с.
8. Рыбкин В.В., Ренгач Н.Г. Применение ЭВМ "Искра" для расчетов в курсовых и дипломных проектах по дисциплинам "Железнодорожный путь" и "Путевое хозяйство". Методические указания./Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп. Днепропетровск.-1987.-С.45.

ДДТУЗТ/ДІІТ/, р-т.Зам.-29, тпр.100, 13.01.94